

EL AMBIENTE, LA CALIDAD Y EL RENDIMIENTO DE LA PLANTA DE MAÍZ. SU ASOCIACIÓN CON LA PRODUCCIÓN POTENCIAL DE ETANOL LIGNOCELULÓSICO A TRAVÉS DE 16 AÑOS DE EVALUACIONES EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Manosalva, J. A.^{*1}; Aulicino, M. B.^{2,3} y Bertoia, L. M.²

¹ Instituto de Ingeniería Rural (CIA – INTA) Av. Pedro Díaz 1798 (1686) Hurlingham, Buenos Aires – Argentina.

² Facultad de Ciencias Agrarias (UNLZ).

³ Instituto Fitotécnico de Santa Catalina (FACyF – UNLP).

* manosalva.jonatan@inta.gob.ar

ENVIRONMENT, QUALITY AND YIELD OF THE MAIZE PLANT. ITS ASSOCIATION WITH POTENTIAL LIGNOCELLULOSIC ETHANOL PRODUCTION THROUGH 16 YEARS OF EVALUATIONS IN THE PROVINCE OF BUENOS AIRES

ABSTRACT

Methods that evaluate forage quality can be appropriate to determine the biofeedstock aptitude to ethanol production. A good quality of maize vegetative component (stalk + leaves, S + L) could generate a good quality stover to produce ethanol lignocellulosic. It was proposed to find a sites clusters pattern with favorable conditions for potential bioethanol production through evaluation of this plant fraction. S+L maize hybrids quality and yield (DMY) was evaluated from 1999 to 2014 in multiple Buenos Aires province locations. Besides the potential ethanol yield (EY) was calculated. Four environments (site x year) clusters were identified. Cluster green classify most sites evaluated in the last 3 years. It showed the highest DMY, neutral detergent fiber (NDF) and EY averages. Areas or regions with favorable and competitive advantages for potential bioethanol production could not be defined, using S + L maize component as biofeedstock. This would indicate that the performance and quality characteristics of S + L would be determined by climatic variables associated with the year.

Palabras Clave

Maíz, Calidad forrajera, Bioetanol, Ambientes.

Key Words

Maize, Forrage quality, Bioethanol, Environment.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los compromisos previstos en el Acuerdo de París, Argentina se comprometió a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y así contribuir a la mitigación del cambio climático. En este contexto la promoción a la producción y utilización de bioetanol fue una de las estrategias implementadas. Las biorrefinerías nacionales, mediante hidrólisis enzimática del almidón contenido en el grano de maíz, obtienen glucosa y su posterior fermentación a etanol. Sin embargo, la utilización de biomasa lignocelulósica del resto del cultivo, puede ser una alternativa atractiva para la obtención de bioenergía. Lorenz *et al.* (2009 b), encontraron que la variación en el rendimiento de etanol fue impulsada por la convertibilidad de los azúcares en bioetanol más que por el contenido de azúcares “per se”. Se entiende por convertibilidad al porcentaje de glucano y otros carbohidratos transformados en etanol, utilizando esquemas de pretratamiento e hidrólisis. La convertibilidad estaría fuertemente correlacionada con los métodos de calidad del forraje, tales como: digestibilidad ruminal *in vitro* de la materia seca, calidad de la fibra y contenido de lignina. Estos, utilizados comúnmente en investigación sobre nutrición de rumiantes, de fácil realización y calibración mediante NIRS, pueden ser adecuados para determi-

nar la calidad de la materia prima con destino a producción de etanol. La detección y desarrollo de materias primas con inherente mayor convertibilidad disminuirá los costos de procesamiento y favorecerá la economía de la producción de etanol celulósico (Lorenz *et al.*, 2009 a). Independiente de cual sea el destino de producción de un híbrido de maíz, una buena calidad del componente vegetativo (caña + hoja, C+H), podría garantizar al finalizar la cosecha, una buena calidad del rastrojo remanente para la producción de etanol. Ruiz (1993) no encontró diferencias significativas en el contenido promedio de digestibilidad *in vitro* (DIV), porcentaje de fibra detergente ácida (FDA) y otras variables, entre hojas verdes y secas de maíz.

No existen datos y estudios de calidad nutricional de maíz de larga duración a nivel nacional, referidos exclusivamente a la fracción vegetativa, en áreas ganaderas o agrícola-ganaderas fuera de la zona núcleo, como las localidades de la provincia de Buenos Aires evaluadas en este trabajo. Por lo tanto, se propuso como objetivo encontrar un patrón de agrupamiento de sitios que permita describir regiones que generen condiciones favorables para la producción potencial de bioetanol a partir de la evaluación esta fracción de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los resultados de una red de ensayos de diversos híbridos evaluados entre las campañas 1999/00 y 2014/15. Los ensayos fueron dispuestos en lotes de productores (LP). Variando de 5 a 6 localidades por campaña, de un total de 24 localidades de la Prov. de Buenos Aires, evaluando de 91 a 198 híbridos por campaña. La cosecha se realizó cuando el 50% de las plantas alcanzaron entre un 30 a 40% de materia seca de la planta completa. Sobre el componente C+H se determinó el rendimiento de materia seca (RMS) y empleando metodología NIRS: DIV, fibra detergente neutro (FDN), FDA y lignina detergente ácido

(LDA). Se calculó el rendimiento potencial de etanol (RE) a través del contenido de celulosa y hemicelulosa (Zhao *et al.*, 2009). Se realizó un análisis multivariado que permitió agrupar ambientes (combinación de localidad por año) a través de las variables de rendimiento y calidad. Se aplicó un análisis de cluster utilizando matrices con el formato: ambientes x variables (RMS, DIV, FDN, FDA y LDA). Los datos fueron estandarizados a media cero y desviaciones estándar igual a 1. Se construyeron distintas matrices de similitud utilizados variados coeficientes de distancia. Se aplicó el procedimiento de varianza mínima de Ward.

El fenograma presentado se eligió en función del mayor coeficiente de correlación cofenética. Posteriormente para probar diferencias entre clusters se aplicó el test de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha= 0,05$) por variable separadamente. Previamente se cal-

culó el ANVA univariado utilizando un modelo lineal mixto y se seleccionó el modelo con mejor ajuste, según el criterio de AIC y BIC, y se corroboró estadísticamente con la prueba del cociente de verosimilitud. Todos los análisis se realizaron con el programa Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El fenograma que alcanzó el mayor valor de coeficiente de correlación cofenética (CCC: 0,69) para clasificar ambientes, fue el contruido utilizando distancia manhattan y método de agrupamiento distancia mínima de Ward (figura 1). Se identificaron cuatro grupos. El clúster azul agrupó a la mayoría de las localidades que se ensayaron en las campañas 2001, 2010 y 2011. Las localidades fueron Tandil, General Belgrano, Castelli, Uribelarrea, Suipacha, Lobos, Chivilcoy y Navarro. Con excepción, no se clasificaron en este grupo las campañas 2010 y 2011 de Virrey del Pino y 2001 de Vicente Casares y Magdalena. Además, este cluster reunió 5 campañas más: 2003 de Chillar, 2008 de General Belgrano, 2012 de Tandil y Uribelarrea y 2013 de Tandil.

El cluster violeta agrupó, en general, localidades en donde se realizaron ensayos entre los años 2005 y 2009, por ejemplo, Vicente Casares, Manuel Ocampo, General Belgrano, Arenaza, Ameghino, Tandil, Lezama, Virrey del Pino, Castelli, Lobos y Suipacha. Y también clasificó algunas localidades de las campañas 2000, como Coronel Bavio y Tandil; y

del 2001, Magdalena y Vicente Casares.

Por su parte el cluster verde, agrupó a la mayoría de las localidades evaluadas en los últimos 3 años, todas las de 2014, todas las de 2013 excepto una y todas las de 2012 exceptuando dos, incluyendo a: Tandil, Castelli, General Belgrano, Del Carril, Uribelarrea, Virrey del Pino, Chascomús y San Miguel del Monte. Además, también reunió a Virrey del Pino del 2011, Coronel Bavio del 2005, Navarro y Castelli del 2002 y Lobos del 2000.

Por último, el cluster rojo clasificó al mayor número de ambientes, integrando una gran variedad de años y localidades, como todas las ensayadas en el año 1999 y 2004, la mayoría del 2002, 2003, 2007 y 2008, como, por ejemplo: General Belgrano, Tandil, Lobos, Arenaza, Monte Grande, Vicente Casares, coronel Bavio, Cañuelas, Las Flores, Virrey del Pino, Olavarría y Oliden. También agrupó 2 localidades del 2000 (Arenaza y Monte Grande), 2 del 2006 (Tandil y Castelli), una de 2009 (Olavarría) y una de 2010 (Virrey del Pino).

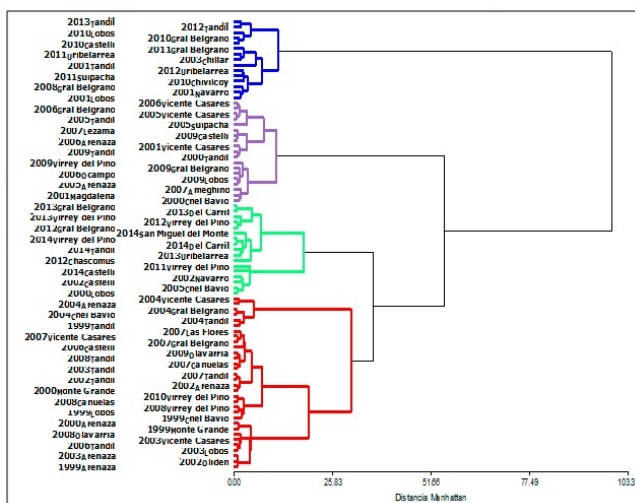


Figura 1. Fenograma clasificando ambientes utilizando las variables RMS, DIV, FDN, FDA y LDA construido con manhattan y método de agrupamiento distancia mínima de Ward. CCC: 0,69.

Para probar diferencias entre clusters se aplicó un análisis de varianza y contrastes, utilizando modelos lineales mixtos (Test LSD al 5 %, tabla 1). Todas las variables presentaron diferencias significativas al 1 % entre clusters (ANVAS no mostrados). El clúster verde presentó los valores promedios más altos de RMS, FDN y RE, diferenciándose del resto de los clusters. El clúster violeta tuvo los valores promedios más altos de FDA y LDA, diferenciándose del resto de los grupos; y el valor más bajo de DIV. El clúster azul se diferenció del resto por tener el promedio más alto de DIV, y los más bajos porcentajes de fibra: FDN, FDA y LDA. Por último, el cluster rojo agrupó ambientes con valores intermedios para la mayoría de las variables, pero con los menores valores para RMS y el RE.

Se observó que los ambientes que clasificaron en un mismo cluster pertenecieron a años similares más que a localidades cercanas geográficamente. La posibilidad de que en campañas sucesivas se ensayaran germoplasmas similares podría explicar este comportamiento. Por lo tanto, estos agrupamientos reforzarían la idea de un patrón de respuesta semejante para la producción y calidad de la biomasa.

Concidentemente Templeton *et al.* (2009) mencionó al año de cosecha (campaña) como el primer factor responsable de la variabilidad observada, por sobre el ambiente (localidad) y la variedad (híbridos).

Por su parte, Velazco (2014), analizando para 18 años el RMS y la DIV de la planta

completa sobre híbridos de maíz en Pergamino, observó que las varianzas genotípicas fueron muy bajas en relación a las varianzas de los efectos del año. Éstos últimos representaron más del 75% de la variabilidad total. En el caso de la DIV, la interacción híbrido x año fue proporcionalmente más importante que la variabilidad asociada a los genotipos.

Concidentemente Templeton *et al.* (2009) mencionó al año de cosecha (campaña) como el primer factor responsable de la variabilidad observada, por sobre el ambiente (localidad) y la variedad (híbridos).

Por su parte, Velazco (2014), analizando para 18 años el RMS y la DIV de la planta completa sobre híbridos de maíz en Pergamino, observó que las varianzas genotípicas fueron muy bajas en relación a las varianzas de los efectos del año. Éstos últimos representaron más del 75% de la variabilidad total. En el caso de la DIV, la interacción híbrido x año fue proporcionalmente más importante que la variabilidad asociada a los genotipos.

Variables	Clúster Verde	Clúster Violeta	Clúster Azul
RMS (kg ha⁻¹)	11.385,40 A ± 139,36	8.705,35 C ± 85,39	10.390,41 B ± 128,36
DIV (%)	47,31 B ± 0,20	38,70 D ± 0,14	53,10 A ± 0,22
FDN (%)	66,48 A ± 0,23	65,65 B ± 0,14	57,53 D ± 0,23
FDA (%)	35,88 B ± 0,12	38,76 A ± 0,12	28,86 D ± 0,17
LDA (%)	5,61 B ± 0,04	6,91 A ± 0,04	4,05 C ± 0,05
RE (l ha⁻¹)	3.550,48 A ± 39,32	2.638,01 C ± 24,78	2.881,99 B ± 38,78

Tabla 1. Comparaciones entre medias (\pm error estándar) de los clusters de la figura 1 para las variables: RMS (kg ha⁻¹), DIV (%), FDN (%), FDA (%), LDA (%) y RE (l ha⁻¹). LSD (p<0,05). Letras distintas indican diferencias significativas entre clusters.

CONCLUSIÓN

No se pudieron definir áreas o regiones con ventajas favorables y competitivas para la producción potencial de bioetanol, utilizando el componente C+H de maíz como materia prima. Esto señalaría que las características de rendimiento y calidad de C+H evaluadas estarían determinadas fuertemente por variables climáticas asociadas al año.

Referencias

Lorenz A. J.; J.G. Coors; N. de León; E.J. Wolfrum; B.R. Hames; A.D. Sluiter & P.J. Weimer. 2009 a. *Characterization, genetic variation, and combining ability of maize traits relevant to the production of cellulosic ethanol*. *Crop Science*. 49:85–98.

Lorenz A.J.; R.P. Anex; A. Isci; J.G. Coors; N. de León & P.J. Weimer. 2009 b. *Forage quality and composition measurements as predictors of ethanol yield from maize (Zea mays L.) stover*. *Biotechnology for Biofuels*. 2:5.

Ruiz I.N. 1993. *Características nutritivas de hojas verdes y secas de maíz destinado a ensilaje*. *Agricultura técnica Chile*. 53(4): 356-358.

Templeton W.D.; A.D. Sluiter; K.T.K. Hayward; B.R. Hames & S.R. Thomas. 2009. *Assessing corn stover composition and sources of variability via NIRS*. *Cellulose* 16:621-639.

Velazco J.G. y J.N. Camarasa. 2014. *Cambios en el desempeño del maíz para ensilaje a través de 18 años de evaluaciones en Pergamino*. *Actas del X Congreso Nacional de maíz*.

Zhao Y.L.; A. Dolat; Y. Steinberger; X. Wang; A. Osman & G.H. Xie. 2009. *Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel*. *Field Crops Research* 111. 55-64.